

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт космических и информационных технологий
Базовая кафедра геоинформационных систем

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

_____ В.И. Харук
подпись
« _____ » _____ 2018 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

09.03.02 - Информационные системы и технологии

Программное обеспечение для расчетов динамических характеристик
растительности суши по спутниковым данным

Руководитель _____ доцент каф. Б-ГИС, к. ф.-м.н. А.В.
Картушинский
подпись, дата

Выпускник _____ А.Г. Шмаков
подпись, дата

Консультант по обработке данных _____ А.А. Ларько
подпись, дата

Нормоконтролер _____ Е.В. Федотова
подпись, дата

Красноярск 2018

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Программное обеспечение для расчетов динамических характеристик растительности суши по спутниковым данным» содержит 31 страницу текстового документа, 1 приложение, 16 использованных источников.

НЕЛИНЕЙНЫЕ ТРЕНДЫ, STL, NDVI, ГЛОБАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ, MODIS, ENVI, IDL

В данной работе была создана программа, для расчета временных трендов, основанная на методе процедуры сезонно трендовой декомпозиции, основанной на Losse. Сформирован первичный банк спутниковых данных MODIS/TERRA. Выполнена оценка динамики характеристик вегетационного индекса и температуры в глобальном масштабе

Цель работы: разработка программного обеспечения для расчетов динамических характеристик растительности суши по спутниковым данным.

Задачи:

- анализ современных методов и средств обработки ДЗЗ для изучения динамических характеристик растительного покрова Земли;
- формирование первичного банка спутниковых данных MODIS/TERRA для оценки пространственно-временной изменчивости характеристик растительного покрова;
- разработка программы в среде IDL для расчета временных трендов характеристик растительности;
- оценка динамики характеристик растительности глобальном масштабе земной поверхности.

СОДЕРЖАНИЕ

Реферат	1
Введение.....	4
1 Анализ современных методов и средств обработки ДЗЗ.....	6
1.1 Характеристики аппаратных средств и космических снимков	6
1.2 Спутниковые данные.....	10
1.3 Методы обработки спутниковых данных	13
1.4 Системы обработки и интерпретации данных ДЗЗ.....	15
1.4.1 Программный комплекс ENVI.....	15
1.4.2 Язык программирования IDL.....	16
2 Формирование первичного банка данных	18
3 Разработка программы.....	20
3.1 Алгоритм программы	20
3.2 Алгоритм STL	21
4 Оценка динамики характеристик растительности.....	25
Заключение	32
Список использованных источников	33

ВВЕДЕНИЕ

Спутниковые системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) измеряют параметры электромагнитного излучения для получения информации о свойствах объектов земной поверхности. Методы обработки данных спутниковых измерений характеристик отраженного земной поверхностью излучения в разных диапазонах длин волн широко используются для определения количественных и качественных характеристик растительного покрова. С увеличением доступности данных дистанционного зондирования для широкого круга исследователей методы их обработки стали стремительно развиваться. Длительный период измерений позволяет выявлять изменения. В целом можно оценивать, как глобальные, так и пространственное локальные изменения.

Занимая более 78% поверхности суши, а также являясь ключевым компонентом биосферы и важнейшим возобновляемым ресурсом, растительный покров Земли имеет огромное экологическое и экономическое значение [1]. Современные системы ДЗЗ, обеспечивая возможность регулярных измерений спектрально-отражательных характеристик земного покрова, являются эффективным инструментом сбора информации о пространственном распределении и динамике растительности. Таким образом, с учетом практической невозможности одновременного проведения наземных измерений характеристик растительности больших территорий, актуальным является развитие методов обработки данных спутниковых измерений для оценки характеристик растительности в глобальном масштабе т.е. по всей земной поверхности. Выпускная квалификационная работа выполнена в рамках научного исследования лаборатории Экологической информатики института биофизики СО РАН, для проведения анализа характеристик растительности была поставлена следующая цель:

разработка программного обеспечения для расчетов динамических характеристик растительности суши по спутниковым данным.

Задачи:

- анализ современных методов и средств обработки ДЗЗ для изучения динамических характеристик растительного покрова Земли;
- формирование первичного банка спутниковых данных MODIS/ TERRA для оценки пространственно-временной изменчивости характеристик растительного покрова;
- разработка программы в среде IDL для расчета временных трендов характеристик растительности;
- оценка динамики характеристик растительности глобальном масштабе земной поверхности.

1 Анализ современных методов и средств обработки ДЗЗ

1.1 Характеристики аппаратных средств и космических снимков

На данный момент разработано много различных приборов ДЗЗ. Преимущество современных систем ДЗЗ состоит в том, что регистрируемое электромагнитное излучение сразу доступно в цифровом виде. Такие изображения доступны для компьютерной обработки, их проще передавать и архивировать. Цифровые системы ДЗЗ позволяют передавать данные в режиме реального времени, что повышает оперативность сбора данных.

Сканирующие оптико-электронные системы появились в середине 70-х годов и сегодня они являются основными поставщиками данных ДЗЗ.

Важными характеристиками съемочной аппаратуры и формируемого изображения являются [2]:

- пространственное разрешение;
- радиометрическое разрешение (РР);
- спектральное разрешение, временное разрешение.

Геометрическими характеристиками получаемых изображения являются пространственное разрешение и ширина полосы обзора.

Пространственное разрешение определяет линейные размеры минимально регистрируемого элемента (пикселя) изображения т.е. представляет собой минимальную линейную величину изобразившегося объекта местности, зафиксированного пикселем.

Ширина полосы обзора зависит от высоты спутника и максимального отклонения луча обзора камеры. Чем шире полоса обзора, тем ниже пространственное разрешение.

Радиометрическое разрешение цифровых космических снимков определяется шириной динамического диапазона используемого датчика, т.е.

количеством уровней дискретизации, соответствующих переходу от яркости абсолютно черного к абсолютно белому цвету.

Спектральное разрешение соответствует количеству диапазонов ЭМ спектра и размеру зон съемки, регистрируемых аппаратурой.

Временное разрешение (ВР) определяет, как часто датчик получает изображение определенной области на поверхности земли [2].

Спутник Terra, запущенный в 1999 году, осуществляет наблюдение поверхности Земли с помощью инструментов ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and reflection Radiometer), MISR (Multi-angle Imaging SpectroRadiometer) и MODIS [3].

Следует особо отметить прибор MODIS, разработанный для изучения биологических и физических процессов в глобальном масштабе с периодичностью наблюдений в 1–2 дня, в частности для исследований типов и характеристик земного покрова, в том числе растительного покрова. MODIS имеет 36 спектральных каналов (Таблица 1) в диапазоне 0,46–14,39 мкм, в том числе информативные для изучения растительности красный (0,62–0,67 мкм) и ближний ИК (0,84–0,88 мкм) каналы с пространственным разрешением 250 м, и ряд каналов с разрешением 500 м, используемых как для анализа характеристик растительности, так и для выделения облачности. Полоса охвата прибора составляет 2330 км, а глобальное покрытие данными измерений обеспечивается с периодичностью 1–2 дня, в том числе не реже раза в сутки для всей территории России.

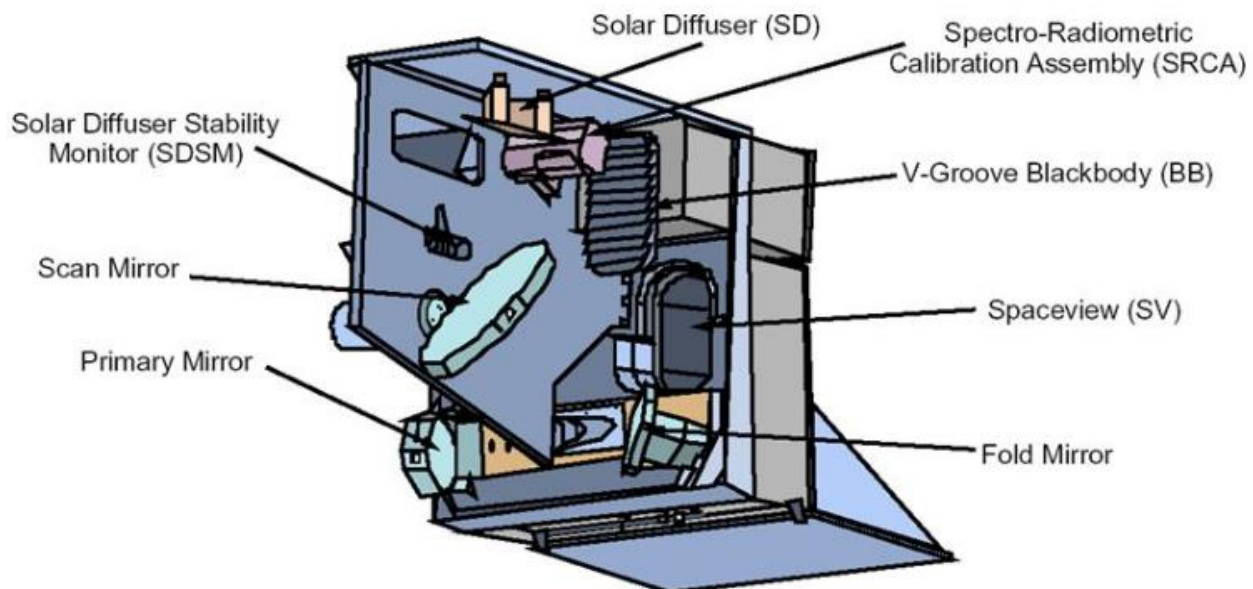


Рисунок 1 – Прибор MODIS

Таблица 1 – Технические характеристики радиометра MODIS [3]

Использование	Номер канала	Длина волны (нм)	Разрешение (м)
Границы поверхности земли облака / аэрозолей	1	620 - 670	250
	2	841 – 876	250
Свойства поверхности земли облака / аэрозолей	3	459 – 479	500
	4	545 - 565	500
	5	1230 – 1250	500
	6	1628 – 1652	500
	7	2105 – 2155	500
Цвет океана	8	405 – 420	1000
Фитопланктон	9	438 – 448	1000
Биогеохимия	10	483 – 493	1000
	11	526 – 536	1000
	12	546 – 556	1000
	13	662 - 672	1000
	14	673 – 683	1000
	15	743 – 753	1000

Использование	Номер канала	Длина волны (нм)	Разрешение (м)
Атмосферный водяной пар	17	890 – 920	1000
	18	931 – 941	1000
	19	915 - 965	1000
Температура пове рхности земли / облаков	20	3.660-3.840	1000
	21	3.929-3.989	1000
	22	3.929-3.989	1000
	23	4.020-2.080	1000
Атмосферная температура	24	4.433-4.498	1000
	25	4.482-4.549	1000
Облака / водяной пар	26	1.360-1.390	1000
	27	6.535-6.895	1000
	28	7.175-7.475	1000
Свойства облаков	29	8.400-8.700	1000
Озон	30	9.580-9.880	1000
Температура пове рхности / облачности	31	10.780-11.280	1000
	32	11.770-12.270	1000
Высота облаков	33	13.185-13.485	1000
	34	13.485-13.785	1000
	35	13.785-14.085	1000
	36	14.085-14.385	1000

Изображения MODIS, предназначенные для изучения атмосферы и океанов, хранятся в GSFC Earth Sciences Distributed Active Archive Center (Центр распределенных архивов наук о Земле), для изучения суши – в USGS-NASA Land Processes DAAC (Архив Геологической съёмки и NASA для изучения процессов на суше), для изучения снега и льда – в National Snow and Ice Data Center (Национальный центр данных по снегу и льду). Данные предоставляются на бесплатной основе, портал LP DAAC предоставляет инструменты для получения нужных данных [4]. Файлы хранятся в формате HDF (Hierarchical Data Format), данные можно получить по FTP.

Архив LP DAAC предоставляет продукты наземных данных. Некоторые данные, такие как данные датчика MODIS на борту спутника Terra NASA, принимаются и обрабатываются на LP DAAC, а другие обрабатываются до прибытия в архив. LP DAAC активно архивирует множество данных наземного дистанционного зондирования от датчиков на борту спутников NASA. В настоящее время архив содержит более 1 петабайта данных и распространяет данные более чем 30 000 пользователям [5]. Все продукты данных в архиве распространяются бесплатно сообществу дистанционного зондирования с помощью инструментов доступа к данным, поддерживаемых LP DAAC. Продукты данных также доступны через NASA Earthdata Search и USGS EarthExplorer.

1.2 Спутниковые данные

Входными данными для обработки в данной работе являются данные в формате HDF. Формат стал своего рода стандартом для хранения и передачи информации в зарубежных системах. Полное наименование – формат иерархических данных (Hierarchical Data Format). Организация-разработчик – Национальный центр суперкомпьютерных приложений – National Center for Supercomputing Applications (NCSA). Исходные файлы представляют собой обзорные снимки земной поверхности (то есть компиляцию всех полувитков за сутки).

Формат HDF – это самоописывающийся формат файла для передачи различных типов данных между различными компьютерами [6].

В HDF используются метаданные о наборах научных данных (Scientific Data Sets, SDSs): система координат, используемая для интерпретации или отображения данных, масштабы по каждой оси, метки по каждой оси и для всего набора данных в целом, единицы измерения по каждой оси и для данных, корректные максимальное и минимальное значения данных,

информация о калибровке данных, информация о дополнительных или отсутствующих значениях.

Существует несколько групп продуктов (Таблица 2) [7], одними из тематических продуктов MODIS для научных исследований являются:

Растительность и почвенный покров (MOD13, 15–17, 43, 44), в т.ч. их состояние продуктивность, определяемые по вегетационным индексам поверхности (NDVI и EVI), поляризационные эффекты и индикатриса отражения, распознавание типа земного покрова, первичная продуктивность растительности, индекс листовой поверхности, доля излучения, поглощаемая растениями при фотосинтезе [8].

Температура поверхности, определяемая для суши (MOD11) и водных объектов (MOD28) с разрешением 1 км. Максимальная точность измерения – 0.3 – 0.5 Град. для водных объектов и 1 град. для суши.

Таблица 2 – Продукты MODIS

Название	Описание	Префикс
Surface Reflectance	Отражающая способность земной поверхности	MOD09
Land Surface Temperature and Emissivity	Температура и излучательная (эмиссионная) способность земной поверхности	MOD11
Land Cover/Change	Классификация типов земной поверхности и их изменений	MOD12
Vegetation Indices	Индексы растительности	MOD13
Thermal Anomalies/Fire	Тепловые аномалии/Пожары	MOD14
Leaf Area Index/Fraction of Photosynthetically Active Radiation (LAI/FPAR)	Индекс поверхности листовой пластинки/Доля фотосинтетически активной радиации (LAI/FPAR)	MOD15

Название	Описание	Префикс
Net Primary Vegetation Production	Чистая первичная продукция	MOD17
Bidirectional Reflectance Distribution Function / Albedo	Функция двунаправленного распределения отражающей способности	MOD43
Vegetation Conversion/Continuous Fields	Изменения растительности/Проективное покрытие растительности	MOD44

Продукт MOD13C2 (таблица A1, Приложение A) обеспечивает значение индекса растительности (VI) на основе каждого пикселя. Существует два основных слоя растительности. Первый - это нормализованный разностный индекс растительности (NDVI). Второй растительный слой - это Индекс расширенной растительности (EVI), который улучшает чувствительность к высоким областям биомассы.

Сетка моделирования климата (CMG) состоит из 3600 рядов и 7200 колонок размером 5600м. Номинально каждая CMG состоит из 286 плиток, которые перепрограммируются в географическую проекцию, пространственно-усредненную и контроль качества (QA). MOD13C2 имеет поля данных для NDVI, EVI, VI QA, данные отражения, угловую информацию и пространственную статистику, такие как среднее, стандартное отклонение и количество используемых входных пикселей при разрешении CMG 0,05 степени.

Продукт MOD11C3 (таблица A2, Приложение A) обеспечивает ежедневную температуру поверхности земли (LST) и значения излучательной способности в сетке моделирования климата широты / долготы 0,05 (5600 м x 5600 м) (CMG). Гранула CMG представляет собой географическую сетку с 7200 колонками и 3600 строк, представляющих весь

земной шар. Значения LST и коэффициента излучения в продукте MOD11C3 производятся путем компоновки и усреднения значений из соответствующих месяцев MOD11C1 ежедневных файлов. Гранула MOD11C3 состоит из 17 слоев. Эти слои включают дневной и ночной LST и их соответствующие уровни качества (QC), шесть уровней излучательной способности и семь слоев наблюдения.

1.3 Методы обработки спутниковых данных

Целью обработки данных дистанционного зондирования (ДЗ) является получение снимков или изображений с требуемыми радиометрическими и геометрическими характеристиками. [11] В общем случае обработка данных дистанционного зондирования включает три этапа:

- предварительную обработку;
- первичную обработку;
- вторичную (тематическую) обработку.

На первом этапе, после приема спутниковых данных, записи их на магнитный носитель и выполнение необходимых декодирующих и корректирующих операций, происходит преобразование данных (с учетом калибровок), переданных с космического аппарата, непосредственно в изображение или космический снимок (например, синтез радиолокационных изображений из радиоголограмм, переданных по радиолинии), а также преобразование их в форматы, удобные для последующих видов обработки.

На втором этапе проводят радиометрические и геометрические преобразования (коррекцию) для исправления радиометрических и геометрических искажений, вызванных нестабильностью работы космического аппарата (КА) и датчика, а также географическую привязку изображения с наложением на него сетки координат, изменение масштаба изображения и представление изображения в необходимой географической

проекции (геокодирование). Первый и второй этапы обработки в настоящее время могут быть выполнены на борту КА.

Третий этап тематическая обработка включает как цифровой анализ с применением статистических методов обработки (кластерный анализ, методы выделения признаков и классификацию для количественных оценок и т. п.), так и визуальное дешифрирование, и интерпретацию. Тематическую обработку целесообразно проводить в интерактивном или полностью автоматизированном режиме. Для этих целей разработаны различные виды программного обеспечения тематической обработки. Ярким примером является программное обеспечение ENVI, которое представляет собой программу, написанную на языке IDL.

Метод, который использовался для декомпозиции временных рядов – STL (Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess – процедура сезонно трендовой декомпозиции, основанная на Лессе). Метод STL основан на фильтрации исходных данных для разложения сезонных временных рядов на три компоненты: сезонную, трендовую и остаточную (шум):

$$D_i = T_i + S_i + N_i \quad (1)$$

где D – значения временного ряда;

T – трендовая составляющая ряда;

S – сезонная составляющая ряда;

N – остаточная составляющая ряда;

i – шаг по времени.

Сущность метода состоит в последовательном применении к данным временного ряда Loess сглаживаний (Loess smoother) [12]. Метод STL имеет более гибкую настройку фильтрации шумов, что позволяет выявлять краткосрочные циклы развития трендов.

1.4 Системы обработки и интерпретации данных ДЗЗ

В настоящее время существует множество программных средств, которые применяются для предварительной и тематической обработки данных ДЗЗ. Наиболее распространены ERDAS Imagine, ER Mapper, ENVI и другие.

1.4.1 Программный комплекс ENVI

Программный комплекс ENVI (Environment for Visualizing Images – среда для отображения снимков) от компании ITT Visual Information Solutions включает набор функций для обработки данных ДЗЗ и их интеграции с данными ГИС [13]. ENVI лицензирован ведущими операторами космических данных, поэтому обеспечивает поддержку данных ДЗЗ, полученных с различных спутников.

Программный комплекс ENVI включает в себя функции: обработки и глубокого анализа гиперспектральных снимков, интерактивного дешифрирования и классификации, анализа снимков в радиодиапазоне, оцифровки, и многие другие. Программный комплекс ENVI содержит спектральные библиотеки и инструменты для выполнения спектрального и топографического анализа, анализа растительности и классификации изображений по следующим алгоритмам: метод параллелепипедов, метод максимального правдоподобия, двоичное кодирование, дерево принятия решений, нейронная сеть.

В программный комплекс ENVI встроен язык программирования IDL (Interactive Data Language), с помощью которого можно существенно расширить функциональные возможности программы для решения специализированных задач, создавать собственные и автоматизировать существующие алгоритмы обработки данных и выполнять пакетную обработку данных.

ENVI имеет интуитивно понятный интерфейс, позволяющий начинающему пользователю быстро освоить все необходимые алгоритмы обработки данных.

1.4.2 Язык программирования IDL

IDL позволяет работать с файлами различных форматов, в том числе с графическими, например, BMP, JPEG, PNG, форматами, разработанными специально для научных задач, например, HDF, CDF, NCDF и несколькими распространенными форматами хранения данных, например, XML, ASCII. Такой большой набор поддерживаемых форматов файлов дает возможность программисту сконцентрироваться непосредственно на разработке проекта, не задумываясь о чтении или записи данных [14].

Программы, разработанные на языке IDL, можно вызывать из внешних программ, созданных на других языках программирования, или в IDL-программах использовать функции, реализованные на C/C++, FORTRAN, Java.

Благодаря этим преимуществам IDL нашел широкое применение при обработке космических снимков и геофизических данных. Он активно применяется в структурах национальных космических агентств: NASA, JAXA, CNES, Роскосмос [15].

Работать с IDL можно в интерактивном или компилируемом режиме. Интерактивный режим используется для решения простых задач. В этом режиме предусмотрена командная строка IDL, в которой вводятся и выполняются команды сразу после нажатия клавиши «Enter». Интерактивный режим целесообразно использовать при разработке функций или процедур, чтобы мгновенно увидеть реакцию системы на выполненные действия. Компилируемый режим предназначен для разработки сложных приложений. Ярким примером применения компилируемого режима является программное обеспечение ENVI, которое представляет собой

программу, написанную на языке IDL; при этом возможности ENVI не ограничены встроенными функциями. Задачи, решаемые с помощью ПО ENVI, можно расширять за счет разработки собственных дополнительных приложений на языке IDL, которые могут быть легко встроены в ENVI.

2 Формирование первичного банка данных

Для данной работы первичный банк данных представляет собой данные прибора MODIS, данные вегетационного индекса и температуры (MOD13C2 и MOD11C3).

Для получения данных MODIS существует несколько сервисов, например, Earth Observer System Science Data and Information System (EOSDIS). EOSDIS - представляет собой единый интерфейс, предназначенный для поиска и заказа данных дистанционного зондирования, хранящихся в различных архивах NASA [16]. Так же инструмент поиска позволяет быстро сузить видимый список данных. Примерной фразой для поиска может быть (Land Surface Temperature over Texas last month – температура поверхности земли над Техасом в прошлом месяце). Результаты будут отображены на панели. Также можно добавить фильтры, чтобы уточнить поиск: выбрать временной диапазон из календаря, установить пространственные границы. Выбор временного диапазона позволяет уточнить вышеописанные критерии поиска. Временной интервал можно определить несколькими способами — как стандартным, задав начало и конец диапазона в формате YYYY-MM-DD и HH:MM:SS, так и в формате номер дня. Существует и еще один полезный способ определения временного диапазона, позволяющий выбрать данные только за определенные дни в году. Такая ситуация может возникнуть в случае если, например, необходимо отобрать данные за несколько лет причем только за определенный сезон.

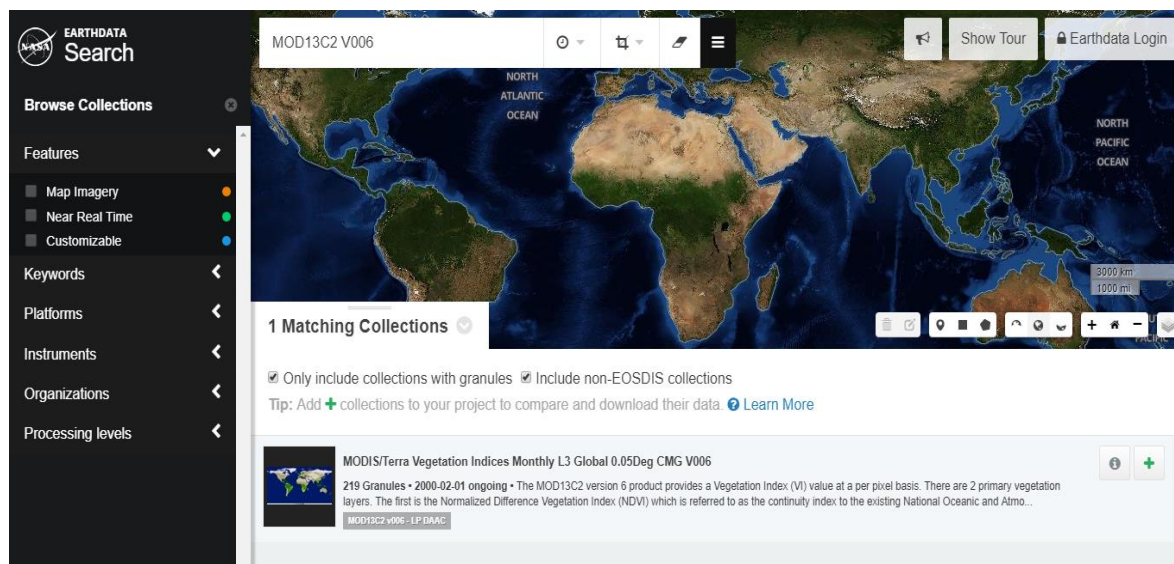


Рисунок 2 – Интерфейс EOSDIS

В данной работе для расчета динамических характеристик растительного покрова, с помощью сервиса EOSDIS получены глобальные данные вегетационного индекса и температуры с 2000 по 2017 гг.

3 Разработка программы

Для получения трендов вегетационного индекса используем метод STL, в среде программирования IDL в данной работе реализация программы выполнена как отдельная процедура или скрипт, которую в дальнейшем можно использовать для расчетов других характеристик растительного покрова земли.

Первым шагом разработки программы это ее представление в виде алгоритма или блок схемы.

3.1 Алгоритм программы

На рисунке 2 изображена общая блок схема работы программы для построения нелинейных трендов методом STL.

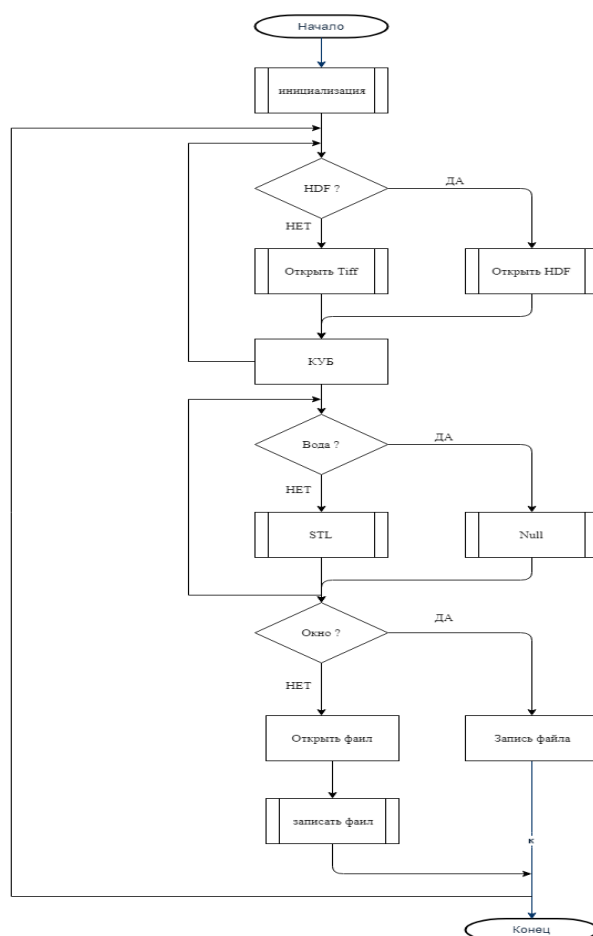


Рисунок 2 – Принцип работы программы

Описание блок-схемы.

Блок инициализация, задаются параметры для входных данных, объявляются массивы и переменные, задаются размеры, название слоя для которых будут проводиться расчеты.

Блок выбора формата – это условие, в котором нужно выбрать формат данных HDF или Tiff.

Далее схема разделена на два цикла. Первый «куб» – это цикл, в котором создается трехмерный массив из входных данных выбранного слоя.

Второй цикл «STL» – основной блок, в котором идет расчет трендов по значениям из матрицы, значения воды не учитываются.

Блок окно, в этом блоке создается файл с данными трендов, если для создания матрицы размер был меньше чем весь объем информации, то создается файл с неполными данными и цикл повторяется, далее файлы с неполными данными объединяются.

Алгоритм построен с учетом того, что можно выбрать формат используемых данных HDF или Tiff. Так же в связи с тем, что данные для расчетов представляют собой трехмерную матрицу в данном случае 7200 x 3600 x 216, расчеты можно проводить не целиком матрицей, а частями, их размер можно задать вручную исходя из характеристик ЭВМ. Данные такого объема используют много оперативной памяти что приводит к замедлению времени расчетов. При расчете алгоритм учитывает только данные суши, не учитывая воду. Процесс расчета занимает около 8 часов в зависимости от характеристик ЭВМ.

3.2 Алгоритм STL

Разложение временного ряда происходит с помощью STL (процедура декомпозиции временного ряда на сезонную, трендовую составляющие и остатки, использующую метод локальных регрессий (LOESS)). Процедура

строится с помощью двух основных циклов: внутренний и внешний. Сначала посмотрим внутренний цикл STL (Рисунок 3).

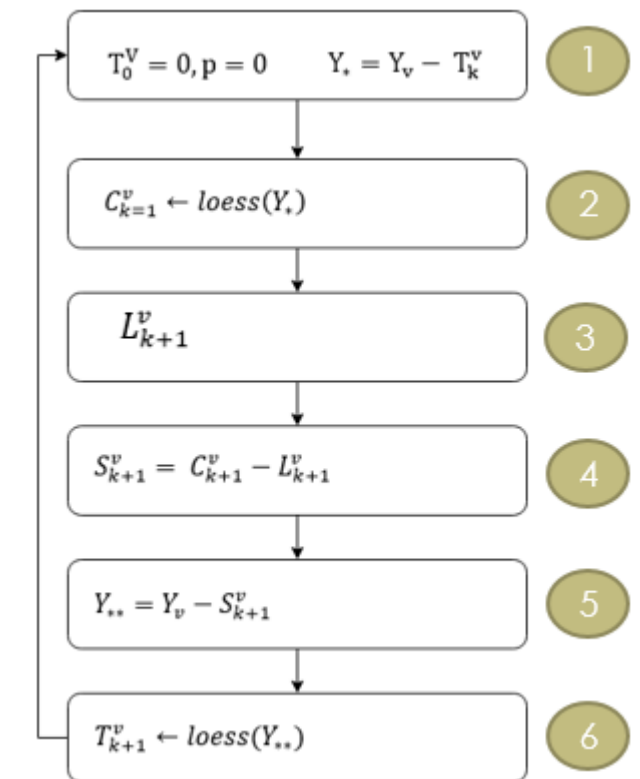


Рисунок 3 – Алгоритм внутреннего цикла STL

Во-первых, мы задаем какие-то начальные приближения весов, которые будут использоваться в LOESS-процедуре, и какое-то начальное приближение тренда, обычно нулевое. И вычитаем трендовую составляющую исходного ряда.

$$T_0^v = 0, p = 0 \quad (2)$$

$$Y_* = Y_v - T_k^v \quad (3)$$

Где Y_v – исходный временной ряд;

T – тренд;

p – веса для loess.

Далее второй шаг каждый сезонный компонент сортируем по периодам, после чего сглаживаем LOESS. Представим, что у нас есть месячная сезонность, то есть март, апрель, май и так далее. Так вот, мы берем и сглаживаем с помощью LOESS сначала все марты, потом все апрели и так далее, то есть по отдельности и получаем новый ряд.

$$C_{k=1}^v \leftarrow loess(Y_*) \quad (4)$$

где C – ряд со сглаженными компонентами сезонности.

На третьем шаге у нас уже идет глубокое сглаживание сезонных компоненты.

$$L_{k+1}^v \quad (5)$$

где L – ряд полученный после сглаживания loess

На этом этапе происходит сглаживание всех компонент с помощью различных методов, например, с помощью скользящего среднего или с помощью того же LOESS, и получаем еще один ряд.

На четвертом шаге, идет детрендрование сглаженных сезонных компонент, то есть получаем новый ряд, из второго ряда полученном на втором шаге вычитаем ряд, полученный на третьем шаге. Получаем опять новый ряд.

$$S_{k+1}^v = C_{k+1}^v - L_{k+1}^v \quad (6)$$

где S – сезонный компонент без тренда.

Пятым шагом идет десезонализация, то есть мы из исходного ряда вычитаем ряд, полученный на шаге четыре.

$$Y_{**} = Y_v - S_{k+1}^v \quad (7)$$

где Y_{**} – исходный ряд без сезонности

Шестой шаг, последний во внутреннем цикле — это сглаживание тренда. То есть теперь мы получаем тренд как LOESS (применяем LOESS к ряду, полученному на шаге 5).

$$T_{k+1}^v \leftarrow loess(Y_{**}) \quad (8)$$

Количество запусков цикла зависит от задачи.

В внешнем цикле, считаются остатки по такой формуле.

$$R_v = Y_v - T_v - S_v \quad (9)$$

где R – остатки

Y – исходный временной ряд

T – сглаженный тренд без сезонности

S – сезонный компонент без тренда

p – веса для loess

Пересчитываются веса p , который используются уже опять же в LOESS.

Внутренний цикл, запускается малое количество раз, однако внешний может запускаться много раз — 10–15, в зависимости от ваших данных.

$$p_v = B\left(\frac{|R_v|}{6 * median(|R_v|)}\right) \quad (10)$$

Кроме того, STL требует всего двух периодов, то есть чтобы в наших данных хотя бы было два периода сезонности.

4 Оценка динамики характеристик растительности

Для расчетов были взяты данные вегетационного индекса и температуры из первичного банка данных. Общий объем данных для расчета около 36 гб. В результате расчетов были получены данные с параметрами нелинейных трендов вегетационного индекса и температуры в глобальном масштабе (рисунки 4-11). И произведена корреляция между трендами температуры и вегетационного индекса (рисунок 12).

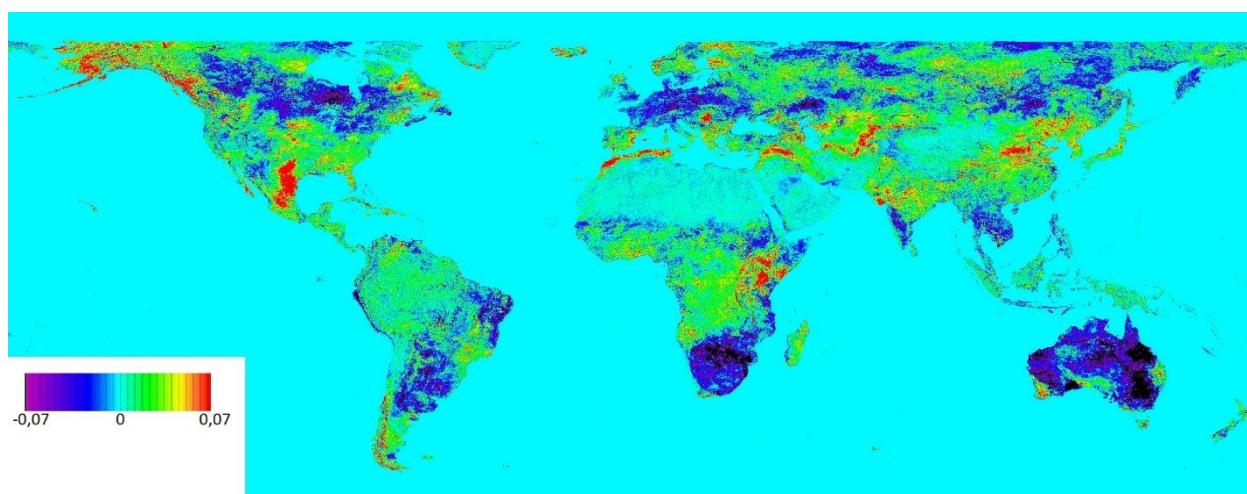


Рисунок 4 – Пространственное распределение параметра нелинейного тренда NDVI 2004 г. относительно начальных значений 2000 г

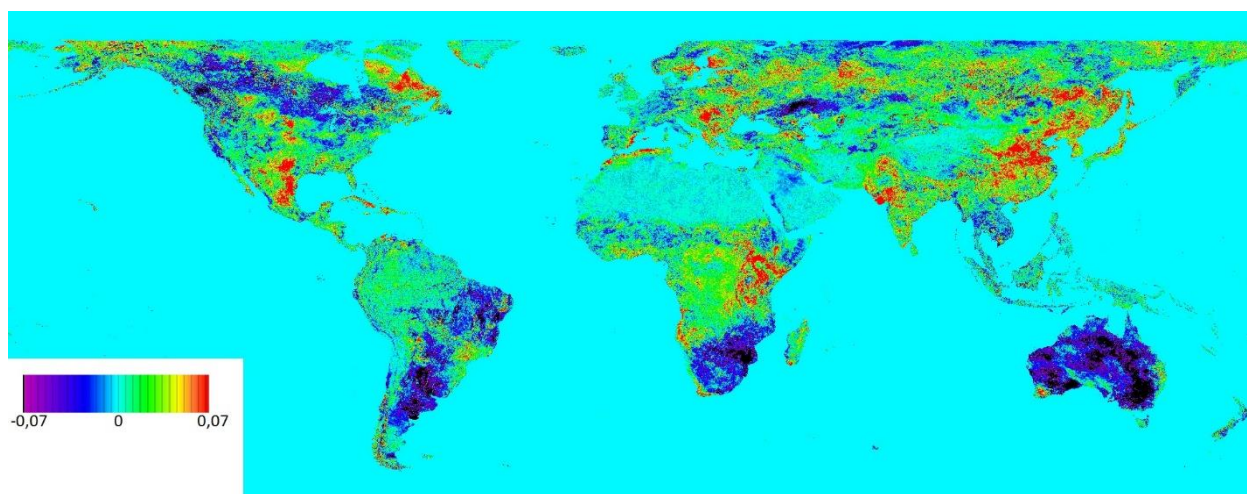


Рисунок 5 – Пространственное распределение параметра нелинейного тренда NDVI 2008 г. относительно начальных значений 2000 г

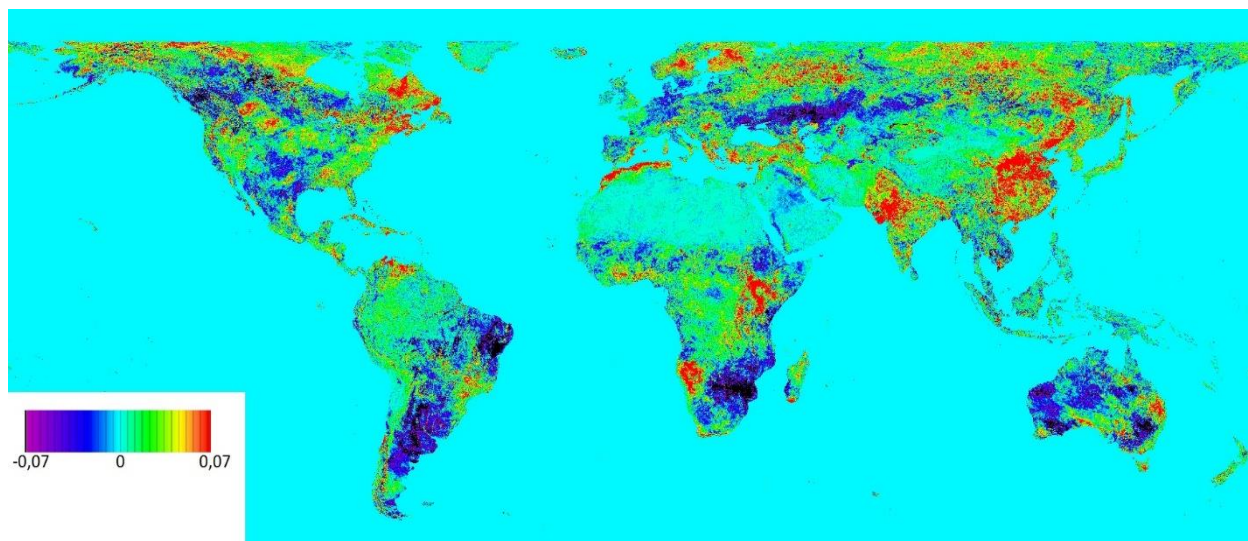


Рисунок 6 – Пространственное распределение параметра нелинейного тренда NDVI 2012 г. относительно начальных значений 2000 г

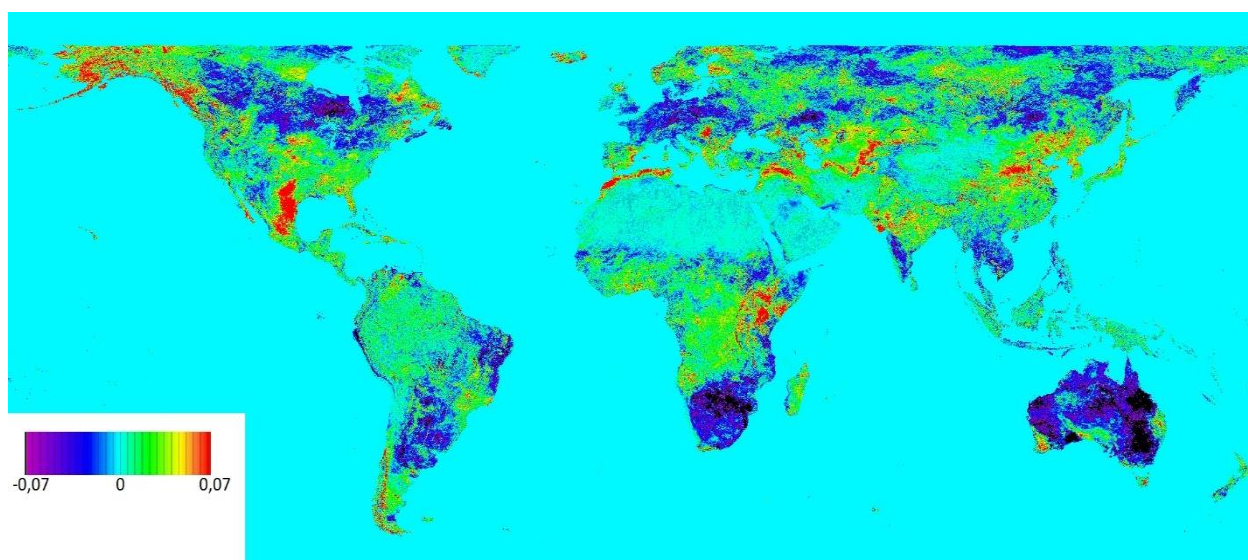


Рисунок 7 – Пространственное распределение параметра нелинейного тренда NDVI 2017 г. относительно начальных значений 2000 г

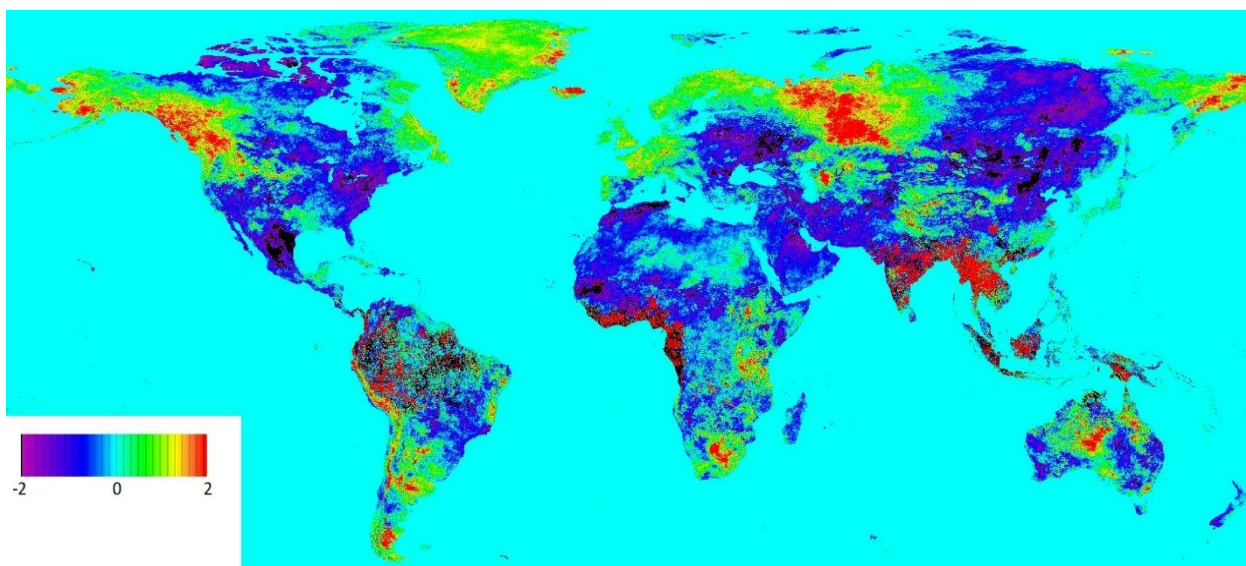


Рисунок 8 – Пространственное распределение параметра нелинейного тренда температуры 2004 г. относительно начальных значений 2000 г

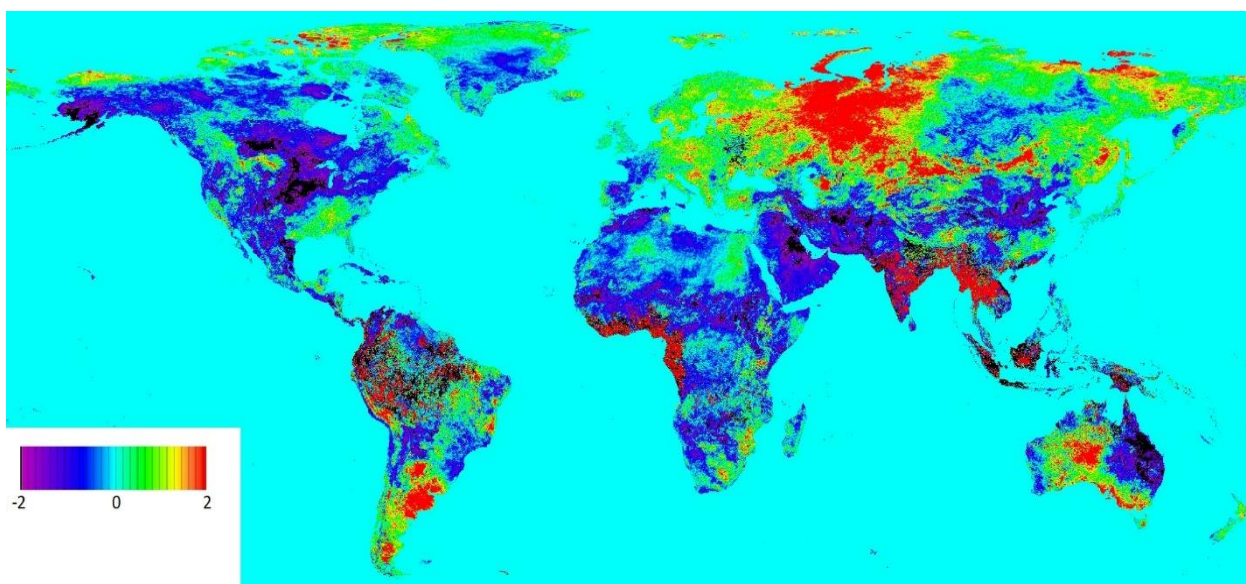


Рисунок 9 – Пространственное распределение параметра нелинейного тренда температуры 2008 г. относительно начальных значений 2000 г

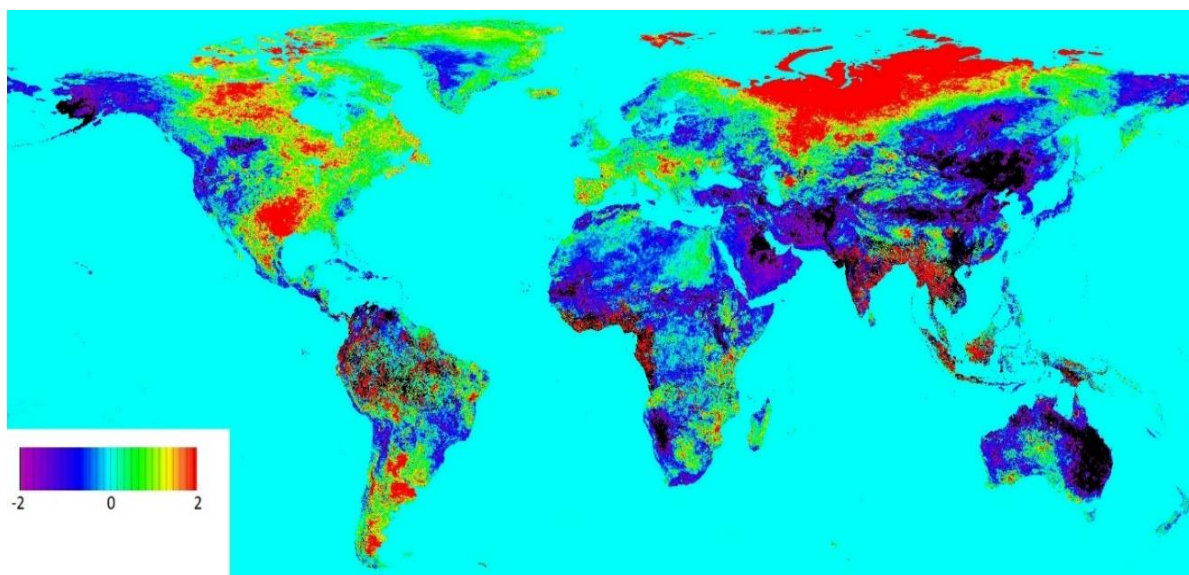


Рисунок 10 – Пространственное распределение параметра нелинейного тренда температуры 2012 г. относительно начальных значений 2000 г

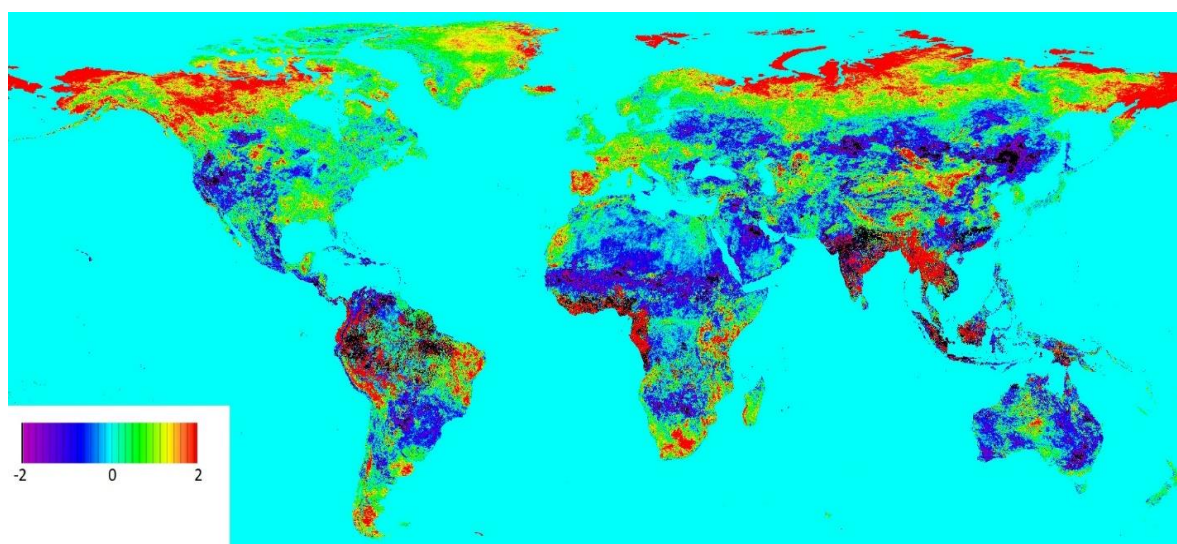


Рисунок 11 – Пространственное распределение параметра нелинейного тренда температуры 2017 г. относительно начальных значений 2000 г

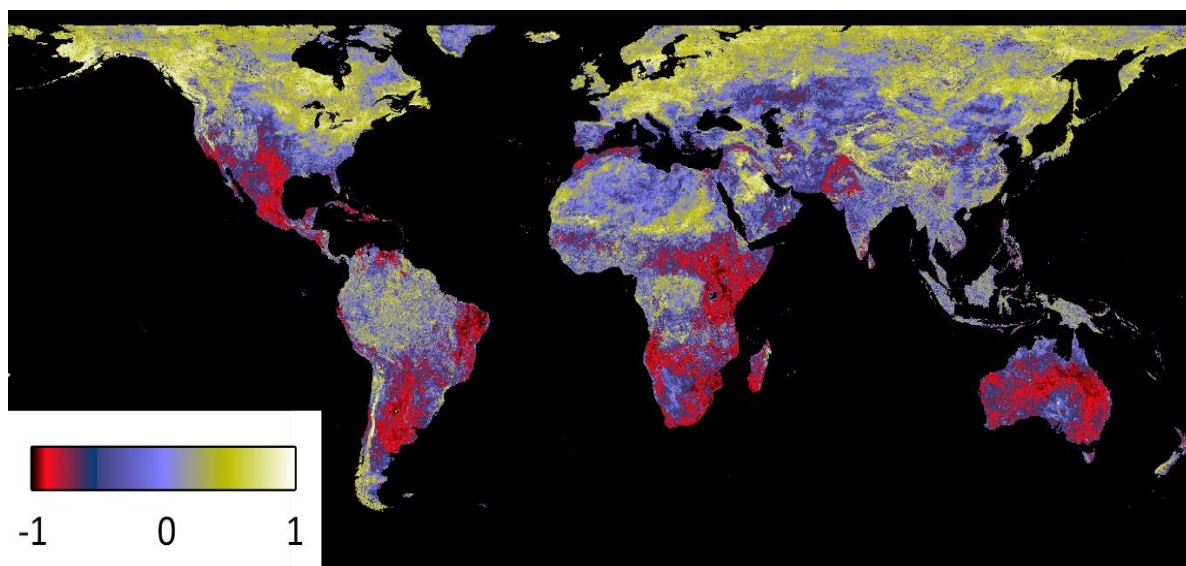


Рисунок 12 – Корреляция между трендами вегетационного индекса и температуры

В ходе расчетов были получены данные трендов вегетационного индекса, температуры, так же была произведена корреляция между ними. На полученном изображении хорошо видны области, где корреляция существенна. Для рассмотрения результатов были выбраны 4 точки в разных регионах и разных биомах. Для данных точек были построены графики трендов.

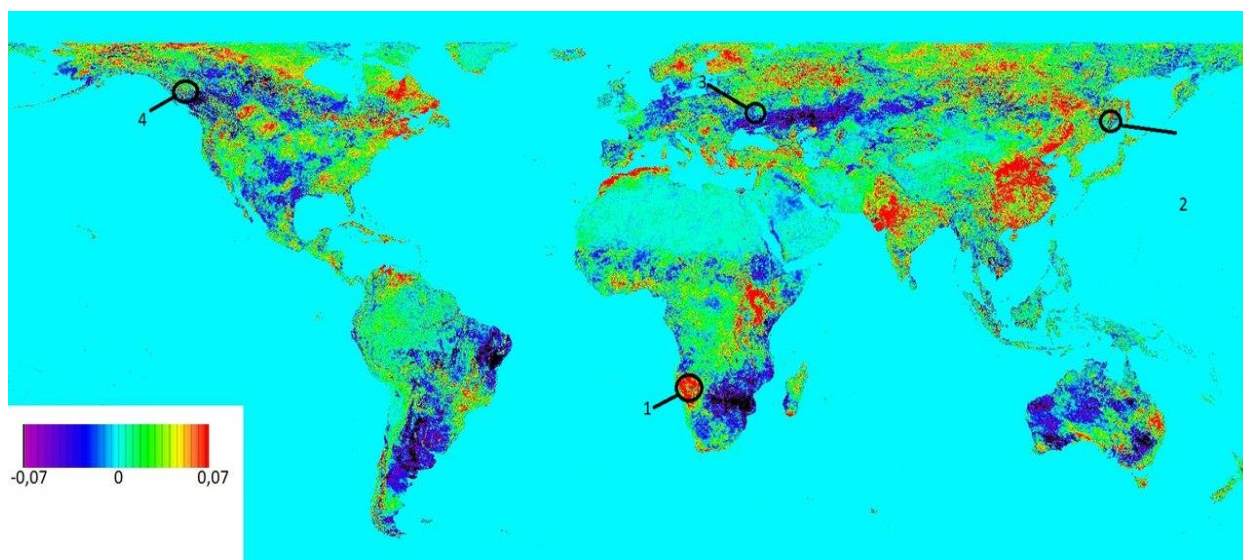


Рисунок 13 – Области для примера

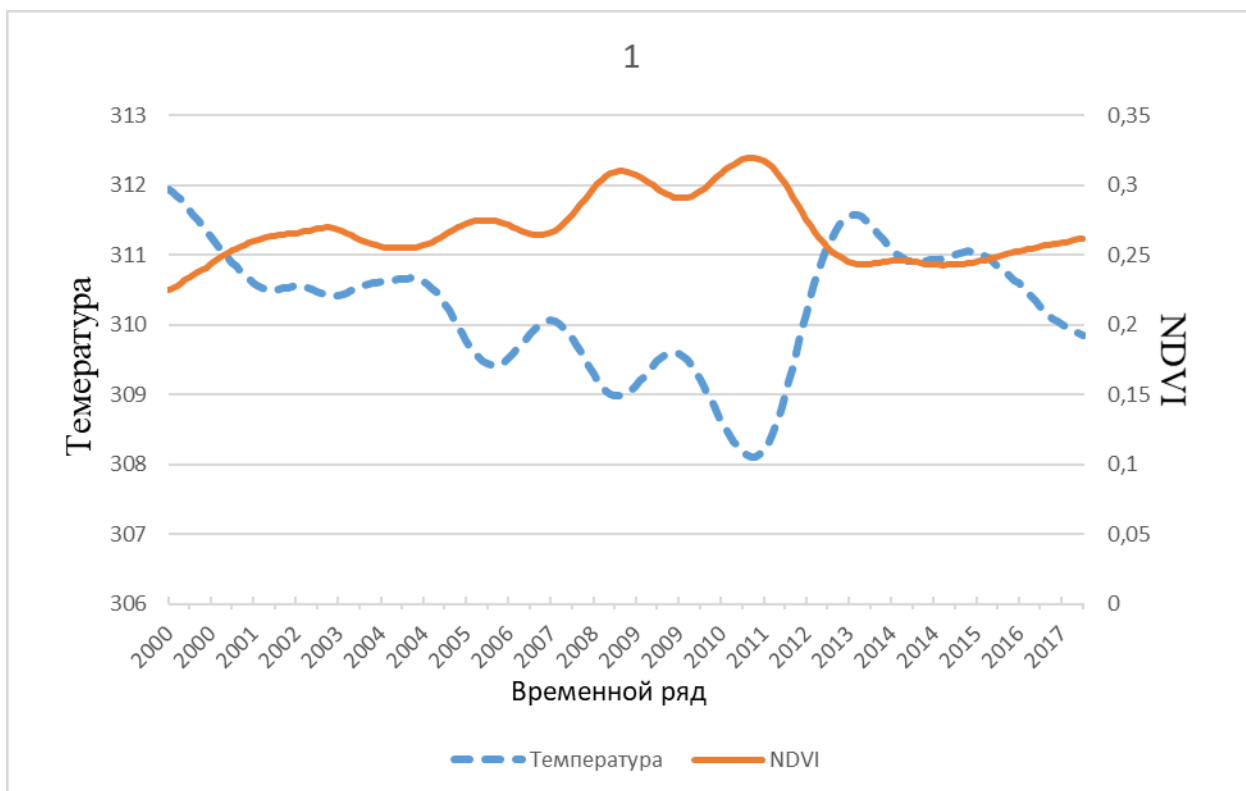


Рисунок 15 – Пример нелинейных трендов NDVI и температуры первой точки

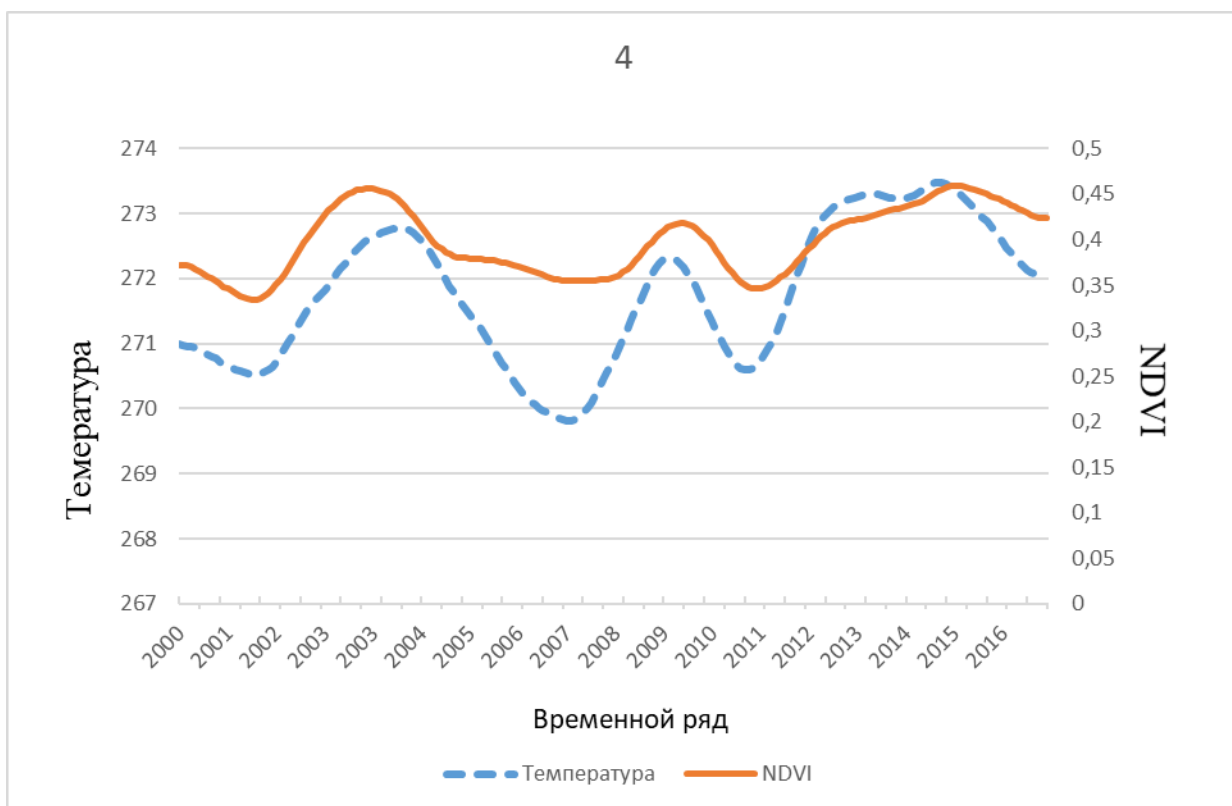


Рисунок 16 – Пример нелинейных трендов NDVI и температуры четвертой точки

На рисунках 15, 16 видны изменения трендов, и корреляция для данной области близка к 1 что показывает связь между вегетационным индексом и температуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были проанализированы современные методы и средства обработки ДЗЗ для изучения динамических характеристик растительного покрова земли.

Сформирован первичный банк спутниковых данных MODIS/TERRA, в нем хранятся как данные источника, так и обработанные данные общим объемом информации больше 40гб, решены проблемы, связанные с получением данных.

Создана программа, для расчета временных трендов, основанная на методе процедуры сезонно трендовой декомпозиции, основанной на Losse, решена проблема с формированием файлов для расчета из-за большого объема данных. Возможности программы заключаются в обработке данных ДЗЗ формата HDF или Tiff. Программа рассчитывает нелинейные тренды данных ДЗЗ методом STL основанном на Losse. Создан каркас обеспечивающий возможность дальнейшего насыщения проекта новыми процедурами.

Выполнена оценка динамики характеристик вегетационного индекса и температуры в глобальном масштабе. Получены данные параметров нелинейных трендов температуры и вегетационного индекса с 2000 по 2017 гг. была произведена корреляция между ними.

В ходе работы были получены навыки обработки спутниковых снимков с помощью программного комплекса ENVI.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Барталев, С.А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS/ С.А. Барталев, В.А. Егоров, Д.В. Ершов, А.С. Исаев, Е.А. Лупян, Д.Е. Плотников, И.А. Уваров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т. 8, № 4. – С. 285-302.
2. Гарбук, С.В. Космические системы дистанционного зондирования Земли/ С.В. Гарбук, В.Е. Гершензон // Скан-Экс –1997. – С. 189-296
3. Архивная документация MODIS [Электронный ресурс]: - Режим доступа:https://lpdaac.usgs.gov/main_menu/dataset_discovery/modis/modis_archived_documentation
4. Архив данных LP DAAC [Электронный ресурс]: - Режим доступа: <http://lpdaac.usgs.gov/>.
5. Справочник [Электронный ресурс]: - Режим доступа: <https://nsidc.org/data/hdfeos/index.html>
6. Fanning, D. Coyote's Guide to Traditional IDL Graphics / D. Fanning // Coyote Book Publ. – 2011, – P. 245-278
7. Гонсалес, Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс // Перевод «Digital Image Processing». – 2006. – С. 1072.
8. Friedl, M.A Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results / M.A. Friedl, D.K. McIver, J.C.F., Hodges, X.Y. Zhang, D. Muchoney, A.H. Strahler, C.E. Woodcock, S. Gopal, A. Schneider, A. Cooper, A. Baccini, F. Gao, C. Schaaf // Remote Sensing of Environment. – 2002. – Vol. 83. № 1. – P. 287-302.
9. Документация MOD11C3 [Электронный ресурс]: - Режим доступа: <https://nsidc.org/data/hdfeos/index.html>https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/mod11c3_v006

10. Документация MOD13C2 [Электронный ресурс] : - Режим доступа: https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/mod13c2_v006
11. Толмачева, Н.И. Космические методы экологического мониторинга / Н.И. Толмачева, Л.С. Шкляева // Учебное пособие. – 2006. – С. 246-296
12. Cleveland, R.B., Terpenning I. STL: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess / R.B. Cleveland, W.S. Cleveland, J.E. McRae // Journal of Official Statistics. – 1990. – Vol. 6. – P. 3–73.
13. Токарева, О.С. Обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования Земли / О.С. Токарева // учебное пособие Томского политехнического университета – 2010. –148 с.
14. Kling, R. Object Oriented Programming with IDL. Kling Research and Software, 2010, 126 p.
15. Статья Применение Interactive Data Language для обработки данных радиометрических измерений [Электронный ресурс] : - Режим доступа: <http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=3689>
16. Руководство ECHO Access [Электронный ресурс] : - Режим доступа: <https://wiki.earthdata.nasa.gov/display/echo/ECHO+Access+tutorial>
17. Архив LP DAAC Home Page [Электронный ресурс] : - Режим доступа: <http://lpdaac.usgs.gov/>.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДУКТОВ MODIS

Таблица А1– Характеристики слоев продукта MOD11C3 [9]

Название слоя	Описание	Единицы	Тип данных	Допустимый диапазон
LST_Day_CM G	Дневная температура поверхности земли	кельвин	16-разрядное целое целое число	7499 до 65535
QC_Day	Дневные индикаторы LST	Бит-поле	8-разрядное целое число без знака	От 0 до 254
Day_view_time	Местное время	часы	8-разрядное целое число без знака	От 0 до 119
Day_view_angle	Просмотр зенитного угла дневного наблюдения	степень	8-разрядное целое число без знака	От 0 до 129
Clear_sky_days	Дни в ясном небе	Бит-поле	8-разрядное целое число без знака	От 0 до 254
LST_Night_CMG	Ночная температура поверхности земли	кельвин	16-разрядное целое число без знака	7499 до 65635
QC_Night	Ночные индикаторы LST	Бит-поле	8-разрядное целое число без знака	От 0 до 254
Night_view_time	Местное время ночного наблюдения	Часы	8-разрядное целое число без знака	От 0 до 119
Night_view_angle	Посмотреть зенитный угол ночного наблюдения	степень	8-разрядное целое число без знака	От 0 до 129
Clear_sky_nights	Ночи в ясном небе	Бит-поле	32-разрядное целое число без знака	1 до 4294967296
Emis_20	Излучательная способность полосы 20 канала	—	8-разрядное неотмеченное целое число	От 1 до 254
Emis_29	Коэффициент излучения 29 канала	—	8-разрядное неотмеченное целое число	От 1 до 254

Название слоя	Описание	Единицы	Тип данных	Допустимый диапазон
Emis_32	Излучательная способность полосы 32 канала	–	8-разрядное целое число без знака	От 1 до 254
Percent_land_in_grid	Процент земли в сетке	Процент	8-разрядное целое число без знака	От 1 до 99

Таблица A2 – Характеристики слоев продукта MOD13C2 [10]

Название слоя	Описание	Единицы	Тип данных	Допустимый диапазон
CMG 0.05 Deg Monthly NDVI	16-дневный средний показатель NDVI	NDVI	16-разрядное целое число со знаком	От -2000 до 10000
CMG 0.05 Deg Monthly EVI	16-дневный средний показатель EVI	EVI	16-разрядное целое число со знаком	От -2000 до 10000
CMG 0.05 Deg Monthly VI Quality	Показатели качества VI	Бит-поле	16-разрядное целое число без знака	0 до 65534
CMG 0.05 Deg Monthly red reflectance	Полоса отражения поверхности 1	коэффициент отражения	16-разрядное целое число со знаком	От 0 до 10000
CMG 0.05 Deg Monthly NIR reflectance	Поверхностная отражательная полоса 2	коэффициент отражения	16-разрядное целое число со знаком	От 0 до 10000
CMG 0.05 Deg Monthly blue reflectance	Полоса отражения поверхности 3	коэффициент отражения	16-разрядное целое число со знаком	От 0 до 10000
CMG 0.05 Deg Monthly MIR reflectance	Полоса отражения поверхности 7	коэффициент отражения	16-разрядное целое число со знаком	От 0 до 10000
CMG 0.05 Deg Monthly Avg sun zen angle	Угол зенита солнца VI пиксела	степень	16-разрядное целое число со знаком	От -9000 до 9000

Название слоя	Описание	Единицы	Тип данных	Допустимый диапазон
CMG 0.05 Deg Monthly #1km pix used	Стандартное отклонение, вычисленное из входных пикселей EVI	EVI	16-разрядное целое число со знаком	От 0 до 10000
CMG 0.05 Deg Monthly #1km pix used	Количество используемых входных пикселей 1 км	Пиксели	8-разрядное целое число без знака	От 0 до 36
CMG 0,05 Deg Monthly # 1km pix + -30deg VZ	Число пикселей 1 км, используемое с углом VZ меньше + или - 30 градусов	Пиксели	8-разрядное целое число без знака	От 0 до 36
CMG 0.05 Deg Monthly pixel reliabilty	Качественная надежность VI-пикселя	Ранг	8-разрядное целое число со знаком	От 0 до 4